

50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau
von Makro bis Nano /
Mechanical Engineering
from Macro to Nano**

Proceedings

Fakultät für Maschinenbau /
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

Impressum

Herausgeber:	Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
Redaktion:	Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten Andrea Schneider Fakultät für Maschinenbau Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß, Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges, Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer, Dipl.-Ing. Silke Stauche
Redaktionsschluss: (CD-Rom-Ausgabe)	31. August 2005
Technische Realisierung: (CD-Rom-Ausgabe)	Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau Dipl.-Ing. Christian Weigel Dipl.-Ing. Helge Drumm Dipl.-Ing. Marco Albrecht
Technische Realisierung: (Online-Ausgabe)	Universitätsbibliothek Ilmenau ilmedia Postfach 10 05 65 98684 Ilmenau
Verlag:	 Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V. Werner-von-Siemens-Str. 16 98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe):	3-932633-98-9	(978-3-932633-98-0)
ISBN (CD-Rom-Ausgabe):	3-932633-99-7	(978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

S. Bergmann / P. Kahnis / N. Hammer / C. Kempmann / K. Weinert

Bearbeitungskonzepte für die Zerspanung von Mikro- und Leichtbaustrukturen

Abstract

Das Institut für Spanende Fertigung (ISF) der Universität Dortmund führt seit vielen Jahren zahlreiche Forschungsprojekte im Bereich der Zerspanung durch. Zu diesen Untersuchungen zählen auch die Erforschung von Mikrofräsprozessen, die Bearbeitung von dünnwandigen Leichtbaustrukturen sowie die Zerspanung nichtmetallischer, faserverstärkter Werkstoffe. Zu den Problemen beim Mikrofräsen zählen die geringe Biegesteifigkeit der Werkzeuge und die Tatsache, dass die Schneidkantenverrundung einen erheblich größeren Einfluss auf den Prozess als bei größeren Fräserdurchmessern ausübt. Dadurch kann es zu verhältnismäßig großen Abdrängungen des Fräasers von seiner programmierten Bahn kommen. Bei der Bearbeitung von Leichtbaustrukturen erschwert die Nachgiebigkeit der Profile die Einhaltung der Toleranzvorgaben und in den Bohrprozessen entstehen Grate am Werkstück. Die Bohr- und Fräsbearbeitung eines nichtmetallischen Verbundwerkstoffes wirft vollkommen neue Problemfelder für die spanende Formgebung auf, da der Werkstoffverbund abhängig von den Bearbeitungskräften beschädigt wird und die Bauteile dadurch unbrauchbar werden können. Hier gilt es, dem Werkstoff angepasste Bearbeitungskonzepte zu entwickeln und zu erforschen.

Mikrofräsbearbeitung von Stahlwerkstoffen

Die zunehmende Bedeutung der Mikrosystemtechnik macht kostengünstige und flexible Verfahren zur Herstellung von Mikrobauteilen erforderlich. Neben Verfahren aus der Halbleitertechnologie gewinnen umformende Verfahren, wie beispielsweise das Spritzgießen zunehmend an Bedeutung. Für die Herstellung der hierfür benötigten Formen ist die Mikrofräsbearbeitung aufgrund ihrer hohen Flexibilität und guten Bearbeitungsqualität ein geeignetes Verfahren. Die Miniaturisierung des Fräsprozesses wirft jedoch einige neue Problemgebiete auf, denen mit speziell angepassten Prozessbedingungen begegnet werden muss. Die an der Zerspanung beteiligten Komponenten Werkzeug, Werkstoff, Maschine sowie eingestellte Parameter haben entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis des Bearbeitungsprozesses.

Für eine Herabskalierung des Fräsprozesses vom Makro- bis in den Mikrobereich müssen die besonderen Problematiken der Mikrofräsbearbeitung beachtet und die Prozessführung entsprechend angepasst werden. Beispiele hierfür sind unter anderem die erhöhte Werkzeugabdrängung, die durch die geringe Steifigkeit der Werkzeuge verursacht wird. Weiterhin übt auch die Verrundung der Schneidkante einen erheblichen Einfluss auf den Prozess aus [1]. Die Spanungsdicke liegt bei der Mikrobearbeitung oft im Bereich weniger Mikrometer. Eine Möglichkeit zur Bestimmung der Schneidkantengeometrie ist die Vermessung mittels eines konfokalen Weißlichtmikroskops. Durch diese Methode erhält man ein Abbild des Werkzeuges aus einem Punktraster von Höheninformationen. Aus diesen Informationen kann das Profil der Schneidkante gewonnen werden.

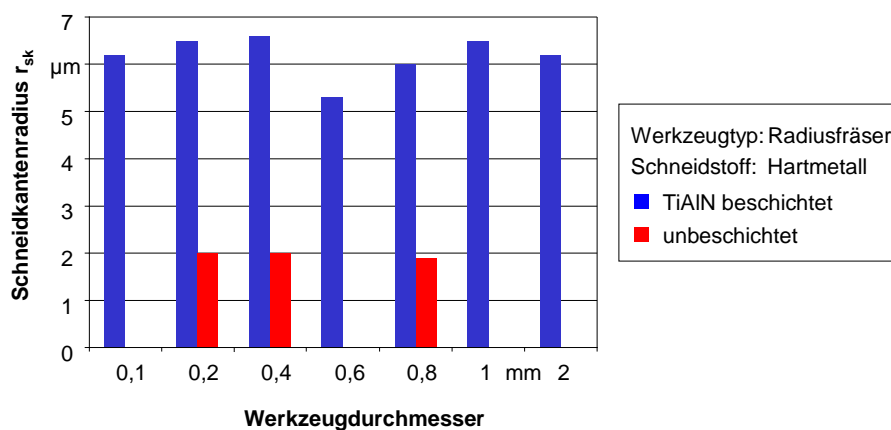


Abbildung 1: Schneidkantenradius bei verschiedenen Werkzeugdurchmessern

Abbildung 1 zeigt den mittleren Schneidkantenradius von Kugelfräsern verschiedener Durchmesser in beschichtetem und unbeschichtetem Zustand. Hier zeigt sich, dass der Radius der Schneidkante unabhängig vom Werkzeugdurchmesser für diesen Werkzeugtyp immer im Bereich zwischen 5 und 7 µm liegt. Vor allem bei kleinen Werkzeugdurchmessern kann dies problematisch werden. Um die Belastung des Werkzeugs möglichst gering zu halten und um Werkzeugbruch zu vermeiden, werden häufig sehr kleine Spanungsdicken verwendet. So liegen Werte für die seitliche und die Tiefenzustellung für 0,2 mm Werkzeuge beispielsweise oft im Bereich um 0,01 mm. Die Spanungsdicke ist demnach nur geringfügig größer als der Radius der Schneidkante. Dies hat zur Folge, dass der effektive Spanwinkel stark negativ wird und dadurch eine definierte Zerspanung des Materials erschwert wird. Stattdessen kommt es vielmehr zu Quetsch- und Pflügevorgängen (sog. Ploughing process) bei denen das Material mehr unter der Schneide hindurchgequetscht wird als vom Werkstück abgetrennt wird.

Ein weiterer Aspekt ist die verschleißbedingte Veränderung der Schneidkantengestalt. Mit zunehmendem Fräsweg vergrößert sich im Allgemeinen die Schneidkantenverrundung. Durch die Belastung des Werkzeuges kommt es zunächst zu einem Abtrag bzw. häufig zu einem

großflächigen Abplatzen der Beschichtung, worauf dann der Hartmetallgrundkörper verschleißt. Bei dem dargestellten Werkstück besitzen beide Schneiden aufgrund eines unpräzisen Anschliffs schon im Ausgangszustand eine unterschiedliche Verrundung. Durch Abplatzen der Beschichtung verringert sich bei Schneide 1 zunächst der Schneidkantenradius, um im weiteren Verlauf bedingt durch den Abtrag des Hartmetalls wieder zuzunehmen (vgl. Abbildung 2).

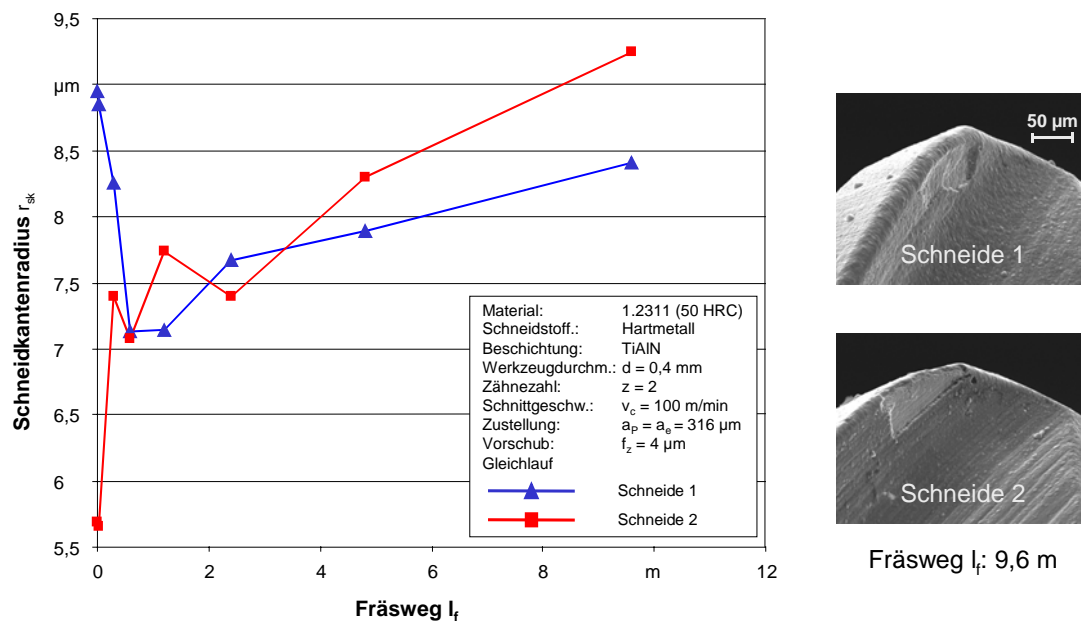


Abbildung 2: Verschleißbedingte Veränderung des Schneidkantenradius

Ein ähnliches Verhalten ist auch bei anderen Werkzeugdurchmessern zu beobachten. Hier müssen weitere Untersuchungen zeigen, inwiefern die Beschichtung, die schon nach kurzer Zeit starke Verschleißerscheinungen zeigt, überhaupt den eigentlichen Zweck erfüllen kann. Zudem ist die Vergrößerung des Schneidkantenradius durch die Beschichtung um bis zu 4 μm (vgl. Abbildung 1) in diesem Zusammenhang nicht außer acht zu lassen.

Eine weitere Problematik, die bei Verkleinerung des Werkzeugdurchmessers auftritt, ist die zunehmende Werkzeugabdrängung. Aufgrund der Tatsache, dass das Widerstandsmoment kubisch mit sinkendem Durchmesser abnimmt, besitzen kleine Werkzeuge nur ein geringes Vermögen eingeleitete Kräfte und Momente aufzunehmen [2]. Zur Charakterisierung der Auswirkungen der Werkzeugabdrängung beim Mikrofräsen von filigranen Strukturelementen in Stahl wurden Stege mit Stegbreiten zwischen 25 und 1000 μm mit unterschiedlichen Strategien gefertigt. Zur Auswertung wurden deren Querschliffe im Rasterelektronenmikroskop vermessen.

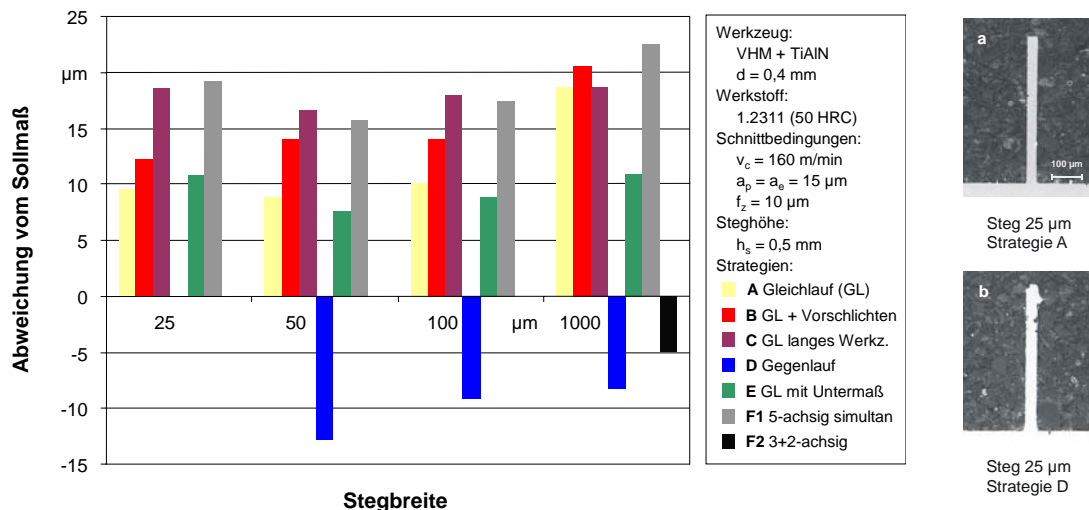


Abbildung 3: Auswirkungen unterschiedlicher Bearbeitungsstrategien auf die Konturabweichung

Abbildung 3 zeigt, dass bei allen angewendeten Strategien Abweichungen von der Sollkontur zwischen 10 und 20 µm auftreten. Die geringsten Abweichungen sind bei der Strategie mit vorverzernten Bahnen zu verzeichnen. Hierbei wird zwar nicht die Abdrängung verringert, aber durch die zusätzlichen Zustellwerte können die Abweichung vor allem bei den breiteren Stegen um bis zu 8 µm verringert werden. Ein Sonderfall stellt die Bearbeitung im Gegenlauf dar. Durch die unterschiedliche Richtung der Bearbeitungskräfte tritt hier eine Abweichung in negative Richtung, d. h. ein Untermaß auf. Die hohen Abweichungen bei der 5-achsigen Strategie sind überwiegend auf Maschinenungenauigkeiten zurückzuführen. Ein fehlerhaftes Einmessen des Drehzentrums der Achsen nach einem Spindelwechsel hatte zur Folge, dass bei der durchgeführten simultan fünfachsigem Bearbeitung Ungenauigkeiten in den Dreh- und Schwenkbewegungen auftraten. Um den Maschineneinfluss zu umgehen, wurde ein Steg mit fester Werkzeuganstellung 3+2-achsig gefertigt, d.h., beide Seiten des Steges wurden separat bearbeitet. Die Abweichungen mit dieser Methode sind mit 5 µm im Vergleich sehr gering. Dies zeigt, eine fünfachsig Bearbeitung durchaus zu einer Verringerung der Maßabweichungen führen kann. Voraussetzung dafür ist jedoch eine auch im Fünfachsbereich ausreichend präzise Maschine.

Bearbeitung konventioneller sowie verbundstranggepresster dünnwandiger Leichtmetall-Rahmenstrukturen

Die spanende Bearbeitung von Leichtbaustrukturen auf der Basis von dünnwandigen Strangpressprofilen gewinnt für Anwendungen im Schienen-, Straßen-, Luft- und Wasserfahrzeugbau zunehmend an Bedeutung. Insbesondere bei der Prozessauslegung für flexible, kleinse-

rientaugliche Fertigungsabläufe wird das Einbringen von qualitätsgerechten Bohrungen häufig als kritisch beurteilt [3]. Als Hauptproblemfelder sind dabei die Gratbildung an den Bohrungsrändern, der adhäsive Werkzeugverschleiß, aber auch die Instabilität der Werkstücke während der Bearbeitung mit den daraus resultierenden Qualitätseinbußen identifiziert worden. Darüber hinaus erfolgte bislang kaum eine Charakterisierung der Zerspanbarkeit verbundstranggepresster Profile. Die Entwicklung von Methoden zur spanenden Bearbeitung dieser Werkstoffverbunde wird daher von der DFG im Rahmen des Transregio SFB/TR10 ermöglicht. Die Herstellung dieser neuartigen Profile erfolgt durch ein modifiziertes Strangpressverfahren, bei dem über die Strangpressmatrize Endlosverstärkungselemente in Form von hochfesten Drahtseilen oder auch Volldrähten in den Pressstrang eingebracht werden [4]. Das Ziel bei der Herstellung eines solchen Werkstoffverbundes ist es, die Gebrauchseigenschaften der Strangpressprofile hinsichtlich ihrer mechanischen Festigkeit zu verbessern.

In den im Folgenden vorgestellten Untersuchungen zeigt sich, dass neben der Werkzeuggestalt auch die Bearbeitungsstrategie in spanenden Fertigungsprozessen an dünnwandigen herkömmlichen, aber auch verstärkten Leichtmetall-Strangpressprofilen erheblichen Einfluss auf das Bearbeitungsergebnis hat. In experimentellen Untersuchungen konnten Möglichkeiten und Grenzen der Verfahrensvarianten Bohren und Zirkularfräsen herausgearbeitet werden. Während das konventionelle Bohren mit wendelgenutzten Bohrwerkzeugen bei nur geringen Hauptzeiten erfolgen kann, ist mit dem Zirkularfräsen eine vergleichsweise bessere Bearbeitungsqualität der Bohrungen realisierbar. Insbesondere hinsichtlich der Gratbildung an den Bohrungsrändern sowie der Oberflächengüte in der Bohrungswand lassen sich mit der Zirkularbearbeitung deutlich bessere Ergebnisse erzielen. In diesem Zusammenhang zeigt die Abbildung 4 eine Gegenüberstellung der beiden Verfahrensvarianten sowie die exemplarische Gratanalyse mit Hilfe der konfokalen Weißlichtmikroskopie.

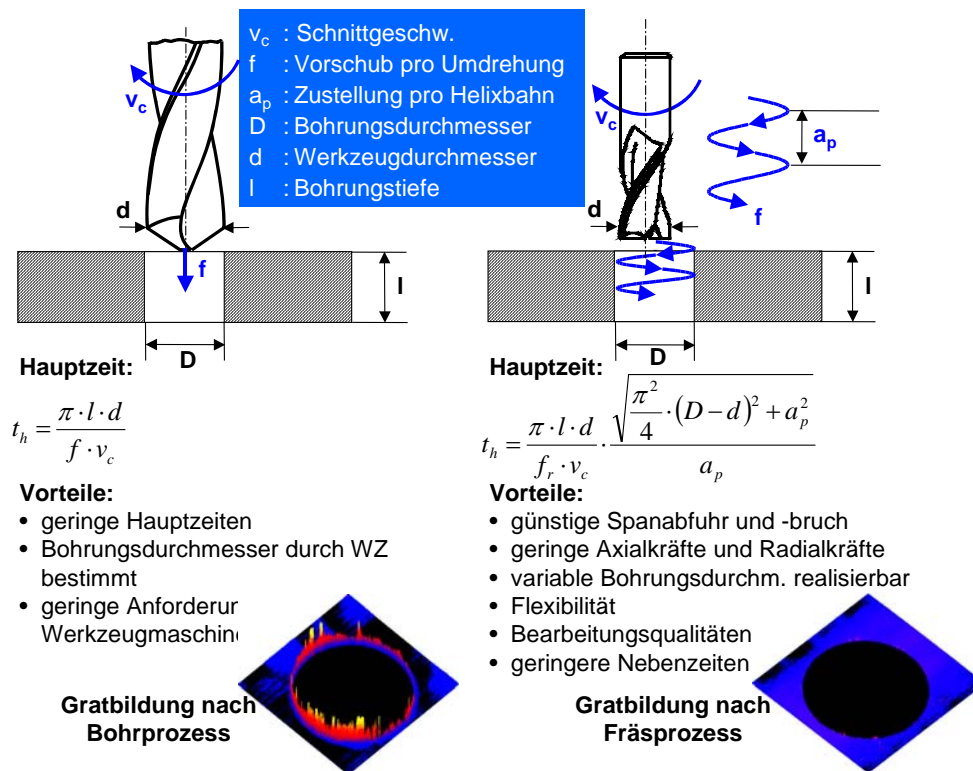


Abbildung 4: Verfahrensvergleich Bohren – Zirkularfräsen

Im Vergleich zum konventionellen Bohrprozess zeigt der verfahrensbedingte unterbrochene Schnitt des Zirkularfräsens deutliche Vorteile hinsichtlich der Spanbildung und -abfuhr, so dass mit Hilfe des Zirkularfräsens Bohrungsdurchmesser der Toleranzklasse IT 7 prozesssicher zu fertigen sind. Während im ununterbrochenen Schnitt beim Bohren häufig Materialablagerungen und Werkstoffaufschmierungen an den Spanflächen und in deren Folge das Zusetzen der Spankanäle zu beobachten ist, kann das Zirkularfräsen von unverstärkten Strangpressprofilen aus AlMgSi0,5 (Al6060) mit Hilfe von Vollhartmetall-Einzahnfräsern prozesssicher realisiert werden. Neben den werkzeugbedingt groß dimensionierten und polierten Spankanälen bringt die Verwendung von Werkzeugbeschichtungen auf der Basis von amorphem Kohlenstoff weitere Verbesserungen hinsichtlich der Vermeidung von Aluminiumablagerungen an den Werkzeugschneiden.

Eine notwendige Anpassung der Werkzeuggestalt ist jedoch unabdingbar, sobald es gilt, Verstärkungselemente im Strangpressprofil zu trennen. Die Kompromissbildung hinsichtlich eines Werkzeugsystems zur Fräsbearbeitung von duktilen Al-Knetlegierungen einerseits und der gleichzeitigen Notwendigkeit zur Schneidenstabilität für die Bearbeitung von hochwarmfesten Stahllegierungen (z. B. Wst.-Nr.: 1.4310) andererseits, ist mit derzeit standardmäßig am Markt verfügbaren Werkzeugen kaum realisierbar. Insbesondere bei der Bearbeitung von

draht- bzw. seilverstärkten Strangpressprofilen erweisen sich daher Einzahn-Fräswerkzeuge mit einer speziellen Schneideckenfase als verschleißoptimal. Deutlich zu erkennen ist das günstigere Verschleißverhalten dieser Werkzeuge bei gesteigerten Schnittwerten für den Vorschub pro Zahn f_z und die Zustellung pro Helixbahn a_p in der Abbildung 5.

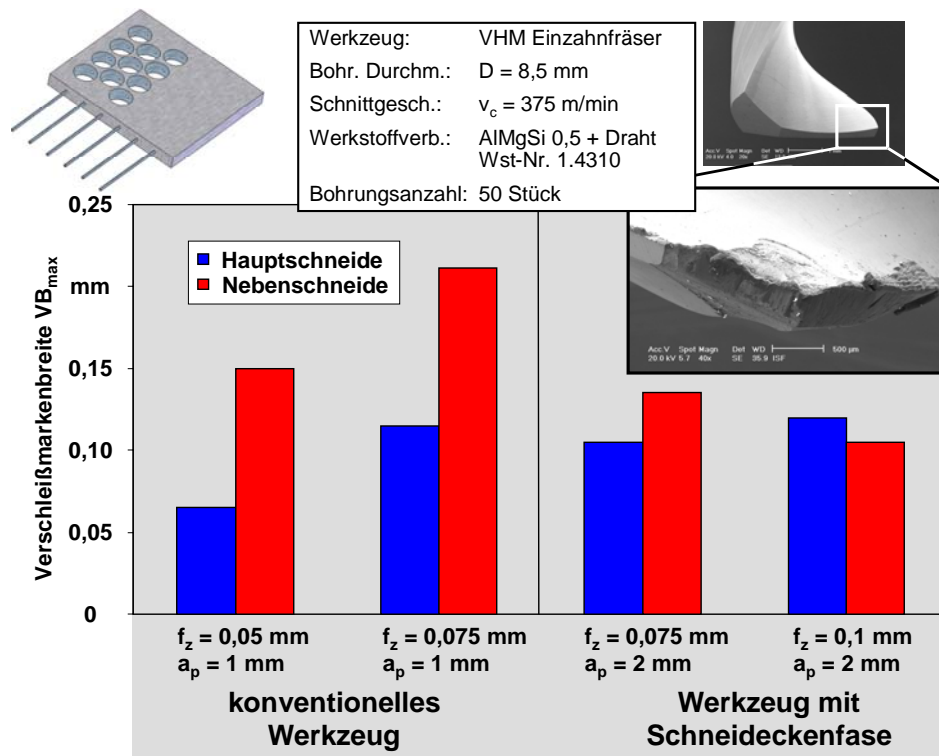


Abbildung 5: Werkzeugverschleiß konventioneller und optimierter Werkzeuge

Darüber hinaus ist in der Abbildung 5 exemplarisch die sich typischerweise einstellende Verschleißerscheinung an einer Fräser-Schneidenecke dargestellt. Aufgrund der Härteunterschiede der zu trennenden Materialien kommt es im Prozessverlauf des Zirkularfräsens von Bohrungen zu schlagartigen Belastungen der Schneidenecke, die in der Folge zur Oberflächenzerüttung und damit einhergehend zu Ausbrüchen und Abplatzungen auf den Span- und Freiflächen der Fräswerkzeuge führen. Des Weiteren zeigen sich für die Zirkularbearbeitung von Bohrungen in einem Durchmesserbereich von $D = 3 - 12$ mm Vollhartmetallfräser als wirtschaftliche Werkzeugwahl. Für größere Durchmesserbereiche sind Fräswerkzeuge mit Wendeschneidplatten als günstigere Wahl anzusehen. Ferner ist bei entsprechend angepasster Schneidstoff- und Beschichtungswahl die Trockenbearbeitung prozesssicher realisierbar.

Ausgehend von den bislang erarbeiteten Fragestellungen zur Zerspanung von dünnwandigen, filigranen Rahmenstrukturen in verstärktem und konventionellem Zustand, gilt es im weiteren

Projektverlauf einerseits die gewonnenen Erkenntnisse für die Auslegung von Bearbeitungs- und Handhabungseinrichtungen einzusetzen und andererseits das Entgraten mit mikroabrasiven Bürsten näher zu charakterisieren. Es hat sich gezeigt, dass durch die Anpassung der Bearbeitungsstrategie (Zirkularfräsen statt Bohren) die Gratbildung stark reduziert werden kann, jedoch für eine absolut gratfreie Bohrung eine Entgratoperation unerlässlich ist. Zur Vermeidung der bei Entgratoperationen mit geometrisch bestimmter Schneide üblichen Sekundärgratbildung sollen daher abrasive Bürsten zum Einsatz kommen. Ferner steht insbesondere auch die Charakterisierung des Zerspanverhaltens alternativer Verstärkungselemente im Strangpressprofil (z. B. C-Fasern) im Fokus weiterer Analysen.

Textilverstärkte Kunststoffe / nichtmetallische Verbundwerkstoffe

Textilverstärkte Kunststoffe haben bereits in der Technik ihren Einsatz gefunden. Die Motivation für den Einsatz dieser Verbundwerkstoffe besteht im Wesentlichen in der Gewichtsreduzierung der Bauteile, wobei die textilverstärkten Kunststoffe die Option bieten, die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften auf den Anwendungsfall auszurichten. Zu den textilverstärkten Kunststoffen zählen sowohl glas- als auch kohlefaserverstärkte Werkstoffe, die einen hohen Faservolumenanteil aufweisen, der unter Umständen bis zu 70 % ausmachen kann. Die Einbringung der textilen Verstärkung kann als Multiaxialgelege, aber auch als Mehrlagengestrick erfolgen.

Das Haupteinsatzgebiet spanender Fertigungsverfahren im Bereich textilverstärkter Kunststoffe konzentriert sich im Besonderen auf die Nachbearbeitung von Bauteilen, da der Großteil der Bauteile endkonturnah gefertigt wird. Im Allgemeinen findet daher das Bohren zur nachträglichen Einbringung von Krafteinleitungspunkten Anwendung, aber auch das Fräsen, welches für die Besäumung von Baugruppen aus textilverstärkten Kunststoffen dient.

Die spanende Bearbeitung textilverstärkter Kunststoffe stellt besondere Bedingungen an die Prozessführung, da diese Materialien andere physikalische Eigenschaften aufweisen als metallische Werkstoffe. Aufgrund der abrasiven Wirkung der Verstärkungsfasern muss auf hochharte Schneidstoffe (Hartmetall K-Sorten, polykristalliner Diamant) zurückgegriffen werden, um ein akzeptables Standzeitverhalten der Werkzeuge zu erreichen.

Darüber hinaus treten je nach Wahl des Werkstoffs und der Prozessbedingungen mehrere Arten von Schädigungsformen an den erstellten Bohrungen auf. Diese sind im Wesentlichen Abplatzungen, Faserrisse, Delaminationen und Ausfransungen, die sich auf die Oberflächengüte der Bohrungswand auswirken.

Werkzeugverschleiß

Im Vergleich zu den unverstärkten Polymerwerkstoffen tritt beim Bohren der textilverstärkten Materialien schon nach kurzer Zeit Verschleiß an den Freiflächen der Werkzeuge auf [5]. Verantwortlich für den Verschleiß ist die Abrasion, die hauptsächlich durch die beim Zerspanen freigesetzten Faserpartikel hervorgerufen wird, aber auch der Trennprozess der Fasern an der Werkzeugschneide. Das Auftreffen der vergleichsweise harten Fasern auf die Schneidkante und das Abgleiten über die Span- und Freifläche verursacht die Verschleißerscheinungen an den Schneiden. Beim Bohren der glasfaserverstärkten Werkstoffe wurde zusätzlich ein Schneidkantenversatz beobachtet. Da der Verschleiß auch maßgeblich die Bearbeitungsqualität beeinflusst, ist es sinnvoll, diverse Werkzeuge mit unterschiedlichen Anschliffen und Schneidstoffen zu testen.

Die beschichteten Werkzeuge weisen im Vergleich zu den unbeschichteten Werkzeugen kein wesentlich besseres Verschleißverhalten auf. In diesem Zusammenhang ist ein konventionelles TiN-beschichtetes und ein Multilayer-beschichtetes Bohrwerkzeug (TiAlN-TiN) eingesetzt worden. Schon nach wenigen Bohrungen kommt es zu Abplatzungen der Beschichtung an der Schneidkante [6]. Nachfolgend bildet sich der Verschleiß im gleichen Ausmaß aus, wie bei den unbeschichteten Bohrwerkzeugen. Teilweise konnte an den beschichteten Werkzeugen größerer Freiflächenverschleiß nachgewiesen werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei gleicher Schneidengestalt höhere Schnittkräfte wirken, die wiederum aus einer durch die Beschichtung hervorgerufene Schneidkantenverrundung resultieren.

Deutlich bessere Ergebnisse hinsichtlich des Werkzeugverschleißes sind erzielbar, wenn PKD-Werkzeuge eingesetzt werden. Sowohl bei der Bearbeitung der textilen Verbundwerkstoffe auf Basis von Glas- als auch Kohlefaser liegt der Verschleiß bei gleichen Schnittbedingungen weit unter dem bei der Verwendung von Hartmetall-Werkzeugen. In Abbildung 6 ist der Freiflächenverschleiß für verschiedene Schneidstoffe dargestellt.

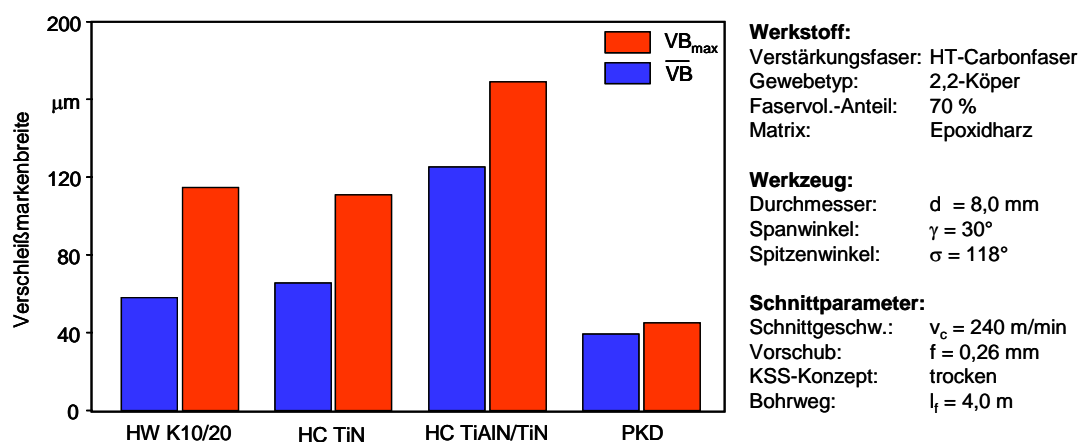


Abbildung 6: Abhängigkeit der Verschleißentwicklung vom eingesetzten Schneidstoff

Bearbeitungsfehler

Bei der Bohrbearbeitung der gewebeverstärkten Kunststoffe treten mehrheitlich Bearbeitungsfehler auf [7,8]. Diese sind in der Abbildung 6 zusammengestellt. Die Bearbeitungsfehler können Auswirkungen auf das spätere Einsatzverhalten haben, wenn es im Randzonenbereich zu einer Entfestigung des Werkstoffs kommt. Dies muss insbesondere dann Berücksichtigung finden, falls ein Gewinde in die bestehende Bohrung eingebracht wird [9].

Im Wesentlichen werden zwei Arten von Schädigungsformen beobachtet. Die eine Art tritt im Inneren der Bohrungswand auf, die andere an den Decklagen, d. h. an der Ein- bzw. Austrittsseite. Die Schädigungen im Inneren der Bohrungswand können nur durch aufwändige materialographische Präparation detektiert werden, was eine Quantifizierung nur schwer möglich macht. Zu den Letztgenannten zählen Faser-Pullouts, Faserbrüche bzw. -risse aber auch Ausbrüche am Bohrungsrand. Die Schädigungen an den Decklagen können dagegen mit mikroskopischen Methoden analysiert werden. Auf diese Weise gelingt es, den Einfluss der Prozessbedingungen abzuschätzen. An den Decklagen treten häufig Delaminationen, Ausfransungen oder Ausbrüche auf.

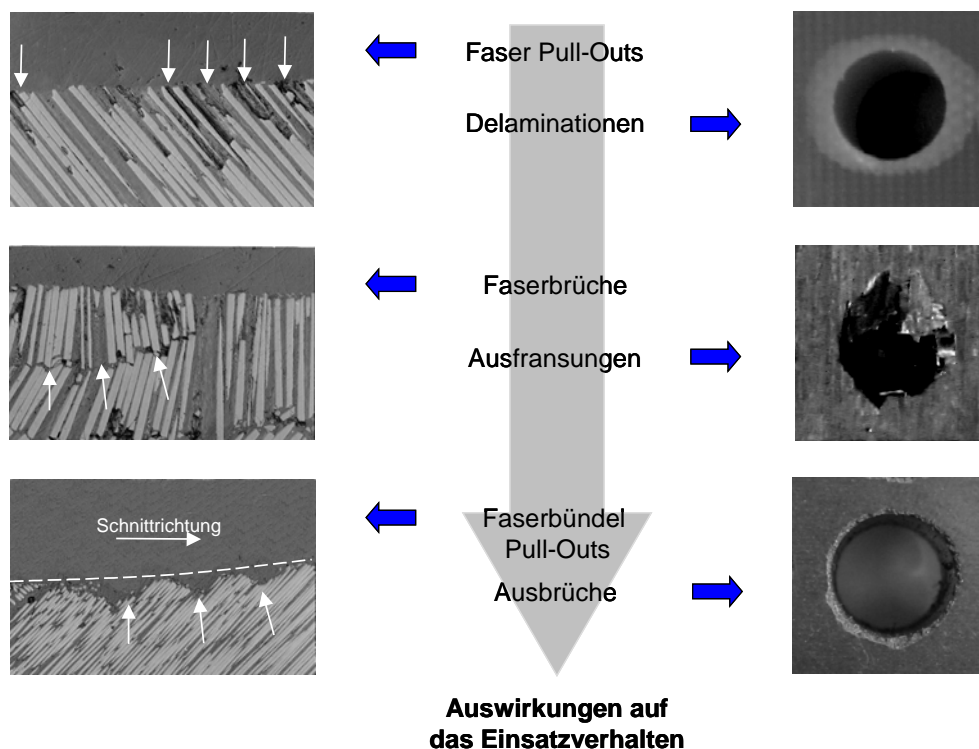


Abbildung 7: Schädigungsformen, die bei der Bohrbearbeitung auftreten

Neben Schädigungen, die infolge des Bearbeitungsprozesses auftreten, welche lediglich aufgrund mechanischer Überlastung des Werkstoffs entstehen, werden beim Bohren auch thermische Randzonenveränderungen beobachtet. Bei der Bearbeitung im Trockenschnitt unter verschiedenen Schnittbedingungen werden am Werkstück Anlauffarben beobachtet, die auf eine

Pyrolyse des Matrixwerkstoffs hinweisen und auf eine zu starke Wärmeeinbringung zurückgeführt werden [10]. Je nach den gewählten Schnittbedingungen tritt diese Art der Schädigung mehr oder weniger stark auf. Kleine Vorschubgeschwindigkeiten und hohe Schnittgeschwindigkeiten führen dabei zu einer sehr starken thermischen Belastung. Die Analyse der chemischen Vorgänge im Matrixpolymer ist mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, da die Zugänglichkeit der Bohrungswand mit Hilfe analytischer Methoden behindert ist.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen des ISF zeigen, dass sowohl für die Mikrobearbeitung als auch bei der Zerspanung von nachgiebigen oder nichtmetallischen Verbundwerkstoffen eine angepasste Prozessstrategie entwickelt werden muss, um qualitätsgerechte Bauteile zu fertigen, das Werkstück nicht zu zerstören und die Produktionsmittel wirtschaftlich einzusetzen.

Untersuchung der Schneidengeometrie zeigten, dass der Schneidkantenradius beim Mikrofräsen nicht vernachlässigt werden kann. Vor allem bedingt durch den Verschleiß ergeben sich deutliche Veränderungen. Darüber hinaus verursacht die Werkzeugabdrängung bei geringen Werkzeugdurchmessern eine erhebliche Konturabweichung. Es wurden erste Ansätze vorgestellt, um diese Fehler zu minimieren.

Bezüglich der Zerspanung moderner dünnwandiger Strangpressprofile zeigen sich speziell angepasste Werkzeugkonzepte und Bearbeitungsstrategien für eine qualitätsgerechte Zerspannung als unabdingbar. Insbesondere für zukünftig vermehrt auftretende Fragestellungen bezüglich der spanenden Bearbeitung von verstärkten Strangpressprofilen ist eine werkstoffgerechte Schneidstoff- und Beschichtungsauswahl daher unerlässlich. In den Untersuchungen zum Bohren und Fräsen von nichtmetallischen Verbundwerkstoffen traten Bearbeitungsfehler, wie z. B. Delaminationen oder Faserpullouts auf, die bei metallischen Werkstoffen weitgehend unbekannt sind. Zur Vermeidung dieser wird versucht, geeignete Werte für die Schnittparameter zu finden und die werkstofftechnischen Ursachen für die Vorgänge zu ergründen. Außerdem sollen geeignete Werkzeuganschliffe die Prozesskräfte soweit verringern, dass Bauteilschädigungen wirkungsvoll vermieden werden.

Literatur

- [1] Weinert, K.; Kahnis, P.; Koehler, W.: Investigation of Scaling Effects on Modelling and Simulation of Scaled Milling Processes. In: Vollertsen, F.; Hollmann, F. (Hrsg.): Process Scaling, Bias Verlag Bremen, 2003, ISBN 3-933762-14-6, S. 107-112
- [2] Schwietering, C.: Technologische Aspekte der mikromechanischen Fräsbearbeitung mit Schaftwerkzeugen. Dissertation, Universität Dortmund, Vulkan Verlag, Essen, 2003, ISBN 3-8027-8721-8
- [3] Weinert, K.; Hammer, N.: Analyse der spanenden Bohrbearbeitung an Space-Frame-Strukturen. Aluminium, International Journal for Industry, Research and Application, 80 (2004) 12, S. 1382-1387, ISSN 0002-6689, Giesel Verlag, Isernhagen

- [4] Kleiner, M.; Schomäcker, M.; Schikorra, M.; Klaus, A.: Herstellung verbundverstärkter Aluminiumprofile für ultraleichte Tragwerke durch Strangpressen In: Materialwissenschaft und Werkstofftechnik
- [5] K. Weinert, C. Kempmann: Bearbeitung von textilverstärkten Polymerwerkstoffen. 5. Werkstofftechnisches Kolloquium 24-25. Okt. 2002 TU Chemnitz, S. 57-64.
- [6] Weinert, K.; Kempmann, C.; Hagedorn, M.; Kötter, D.; Lange, M.; Petzoldt, V.: Modern Tool Coatings for Machining Innovative Construction Materials. In: Proceedings of the 4th International Conference THE Coatings, Erlangen, 05.-07. April 2004, S. 159-168.
- [7] K. Weinert, C. Kempmann: Wear Development and Drill Hole Quality when Drilling Textile Reinforced Polymer Material. Production Engineering - Production Engineering, Annals of the German Academic Society for Production Engineering, Vol. X/2 (2003) S. 61-64.
- [8] C. Kempmann, M. Mayer, K. Weinert: Einfluss des Werkzeugverschleißes auf die Qualitätsmerkmale. VDI-Z Integrierte Produktion Special Werkzeuge II, 2003, 9, S. 75-78.
- [9] K. Weinert, C. Kempmann: Gewindefertigung in faserverstärkten Kunststoffen. Kunststoffe - Plast Europe 7 (2004), S. 44-48.
- [10] K. Weinert, C. Kempmann: Cutting Temperatures and Their Effects on the Machining Behaviour in Drilling Reinforced Plastic Composites. Advanced Engineering Materials 6 (2004) 8, S. 684-689.

Autorenangaben:

Dipl.-Ing. Stefan Bergmann
Dipl.-Ing. Philip Kahnis
Dipl.-Ing. Niels Hammer
Dr. rer. nat. Christoph Kempmann
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Klaus Weinert

Institut für Spanende Fertigung, Baroper Str. 301
44227 Dortmund
Tel.: 0231-755 2783
Fax: 0231-755 5141
E-Mail: {bergmann, kahnis, hammer, kempmann, weinert}@isf.de